卒業研究

題　　目

RIE 利用によるエッチング形状の研究

指 導 教 員

真田　克教授

報 告 者

1070309

中村　朋矢

平成 19 年　2 月　20 日

高知工科大学
電子・光システム工学科

目次

目次 2

第 1 章　序論 3

1.1　研究背景 3

1.2　SEM の原理 5

1.3　故障解析の流れ 6

1.4　研究の目的 7

第 2 章　RIE 装置の原理 9

2.1　ウエットエッチングとドライエッチング 9

2.2　ウエットエッチングでの開封の流れ 10

2.3　エッチングガス 11

2.4　RIE 装置の仕組み 12

2.5　グラス 13

2.6　チャンバ内 14

2.7　絶縁膜の反応 15

第 3 章　異方性と等方性 17

3.1　RIE の条件設定 17

3.2　異方性と等方性 19

3.3 SEM 像による異方性と等方性 20

3.4 等方性の欠点 22

第 4 章 エッチング条件選択 24

4.1 真空度 24

4.2 エッチングガス 24

4.3 高周波出力 24

4.4 温度 25

4.5 時間 25

第 5 章 時間の特定 27

5.1 時間の選択 27

5.2 時間変化によるサンプル 27

5.3 SEM 像での確認 29

考察 31

今後の展開 31

謝辞 32

参考文献 33

第１章　序論

1.1　研究背景

現在、LSI(Large Scale Integration) は多層配線構造化、集積がハイペースで進んできている。微細化が進むにつれて多層配線化が取り入れられているがその中でも問題はある。例えば、配線を流れる電流がほかの流れる電気信号へ移動してしまうクロストーク現象や微細化することによって配線間が狭くなり電気信号が遅くなる RC（Rivest's Cipher）遅延などがある。集積に関しても素子数が年々急速に増加している。下のグラフ図.1.1 は 1.5 年から 2 年で集積回路のトランジスタ数が倍になるという Moore（Gordon Moore）の法則でありトランジスタの数が年を重ねることに急速に増えてきていることがわかる。そういった中で集積などの問題解決はより研究を重ねなければならなくその見合った解析技術が非常に必要になってきている。つまり技術の進歩をするためには LSI の解析技術が必要不可欠であり、解析技術は手放せないものである。

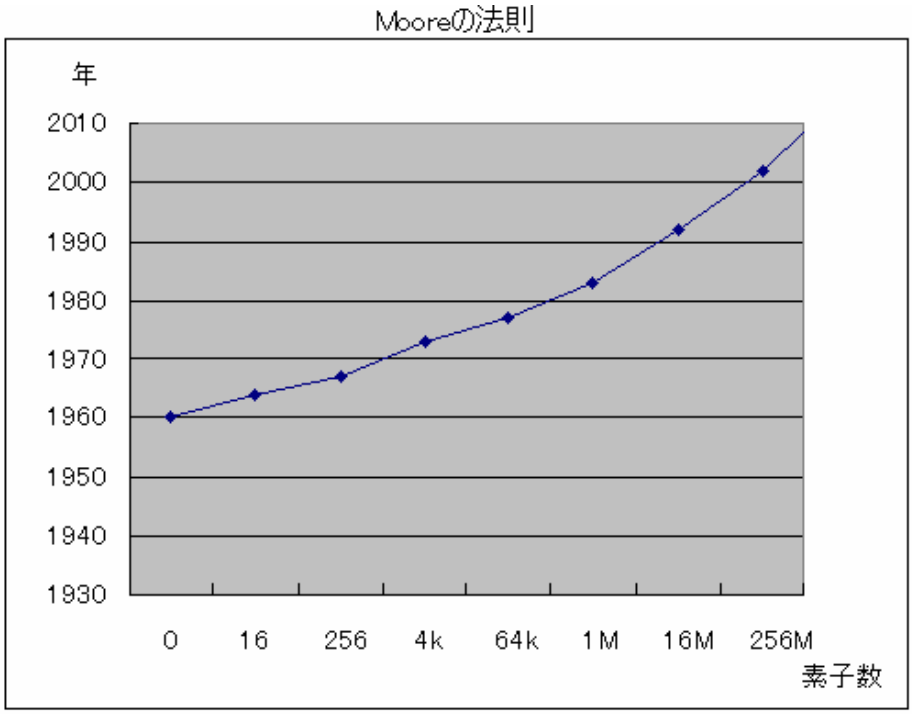


図.1.1 Moore の法則

解析技術を高めることで技術の進歩につながっていくわけだが、具体的に LSI の解析を行うにあたっての故障はどのようなものがあるのか？
LSI の製品になっているうちの故障の多くが腐食、又は理論電位と実際に反応を進行させるために必要な電位の差が異なり起こる電流、電圧による破壊である（過電圧破壊）。この過電圧破壊は科学的、物理的などで実際に確認することができる。例えば、液晶や冷却 CCD カメラを使い故障部分の発光を見るなどいろいろな方法がある。そのなかでも具体的に物理現象が見られるのが SEM（Scanning Electron Microscope）であり、断線やゴミなど直接見ることができる(図 1.2,図 1.3)。この図.1.2 はアルミ配線上に故意につけた傷であり配線が明らかに切れていることがわかる。そして、図 1.3 はアルミ配線上に明らかに不自然なゴミが写っているのがわかる。この SEM で撮った図はそれぞれ 800 倍、3200 倍で撮ったものであり目では確認できない断線やゴミを見ることができる。一般の顕微鏡では数十倍～数百倍ですごいものでは 2000 倍はあるがやはり SEM には劣る点がある。そして顕微鏡の違いが立体的に見えるという点がとても優れている。このように SEM は故障解析において大変必要なものとなる。

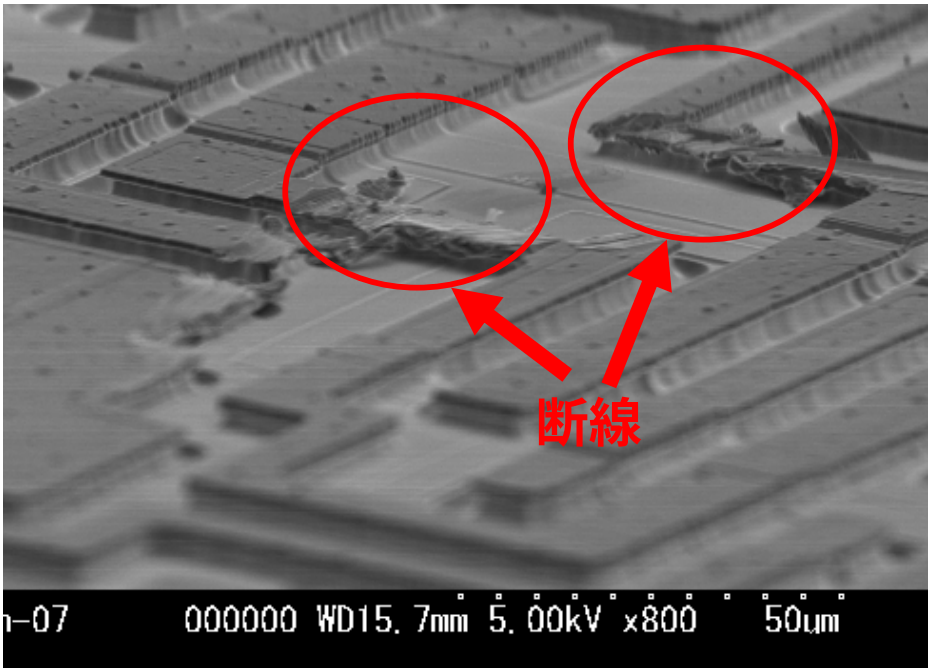


図.1.2 アルミ配線による断線

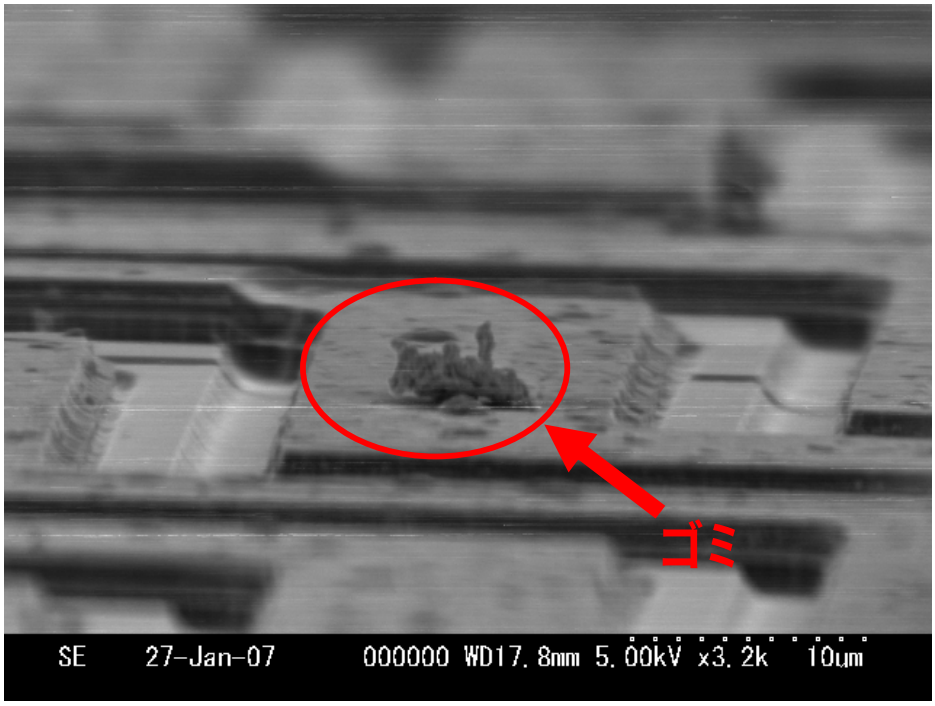


図.1.3 アルミ配線上のなんらかのゴミ

1.2 SEM の原理

SEM は故障解析に必要なものであるがここで簡単に SEM の原理を説明する。SEM は電子顕微鏡の一種であり、または走査型電子顕微鏡と呼ばれている。

SEM とは簡単に説明すると試料に電子ビームを当て、跳ね返った電子ビーム（二次電子）を捕えてブラウン管に映し出すというものである。二次電子は下の図.1.4 に示すように電子を資料に当たり、電子が資料から当たって跳ね返ってきた電子を二次電子といい、この二次電子を読み取り SEM 像を見ることができる。

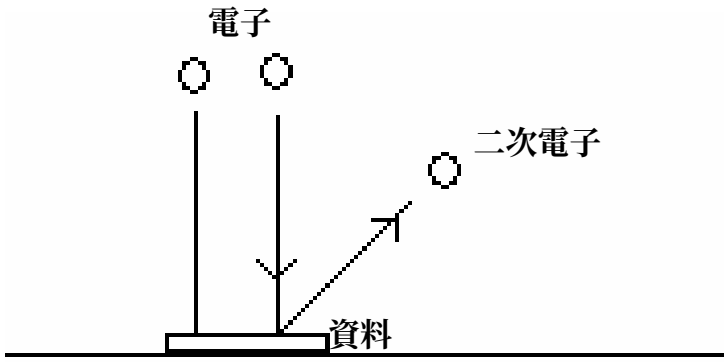


図.1.4 二次電子

また資料が凹凸になっている部分はより二次電子の放出が多いため平らな場所と比べてより明るく SEM 像では映し出される（エッジ効果、図.1.5）。

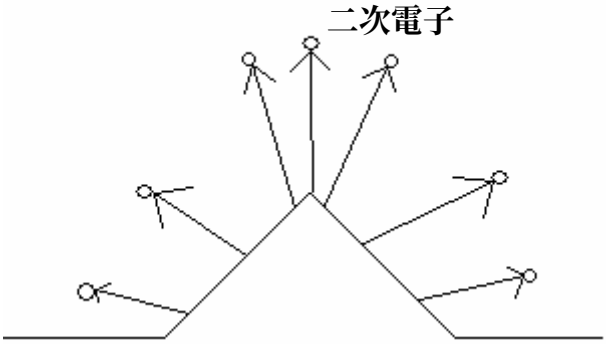


図.1.5　エッジ効果

1.3　故障解析の流れ

ここで故障がわかってからの流れがどうなっているのか？先ほどの回路の断線部分やゴミなどは故障がわかってからすぐに見つけ出せるわけじゃなく、手順として故障状況の把握、外観での異常確認（IC の足などのチェック）、実際に電気を流して動作確認、発煙硝酸での開封、RIE(Reactive Ion Etching)での開封、SEM での観察の順でようやく先ほどの図.1.2、図.1.3 のような断線部分やゴミが確認できる。図.1.8 の左の図を見てみると IC の足（ポート）など正常につながっているかは外観で確認でき、また実際に電気を流してみて入力に対しての出力が正しいかも外観でチェックができる。そこからおかしいとなると異常個所を見つけ出すために図.1.9 で黒い部分の除去（パッケージ開封）を行うために発煙硝酸を使いチップが見える所まで開封を行う。そこで見えた回路では光学顕微鏡（顕微鏡）で大まかに異物や腐食などを探す。ここまでの工程では回路は大まかに見えているが発煙硝酸だけでは取りきれていない膜があり、それは回路表面に残っている。図.1.6 では中心辺りを無理やり削って回路は見えているがそのほかはうっすらとしか見えていないのがわかる。そしてなんとなく回路まで後一層ぐらい膜がある感じがわかると思われる。その膜を取り除くためには RIE 装置を使って膜を取り除いてやらなければならない。そうするとようやくアルミ配線がむき出しの状態で現れ図.1.2、図.1.3 のような図が撮れるようになる。そこからは、不必要な膜が取れたためアルミ配線へ直接プローブをあてることができ、プローブでの電気特性を計ることが出来る。その後、元素レベルでの故障解析を行うために EDX などで元素分析が行われ検証という手順で行われる。

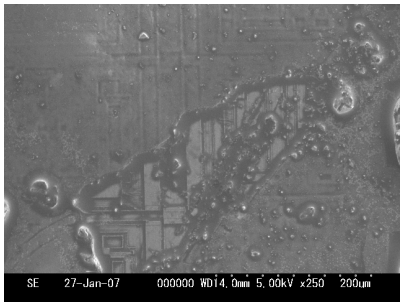


図.1.6　絶縁膜を削った部分

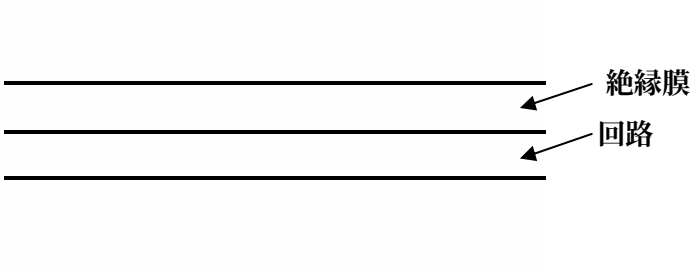


図.1.7　図.1.6 の断面図

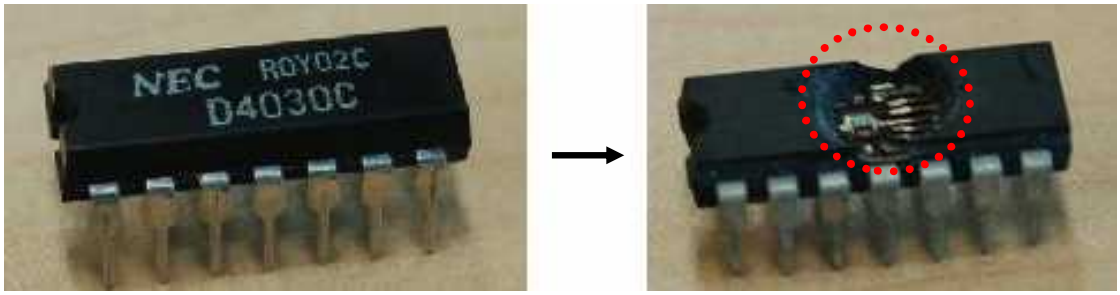


図.1.8　パッケージ開封

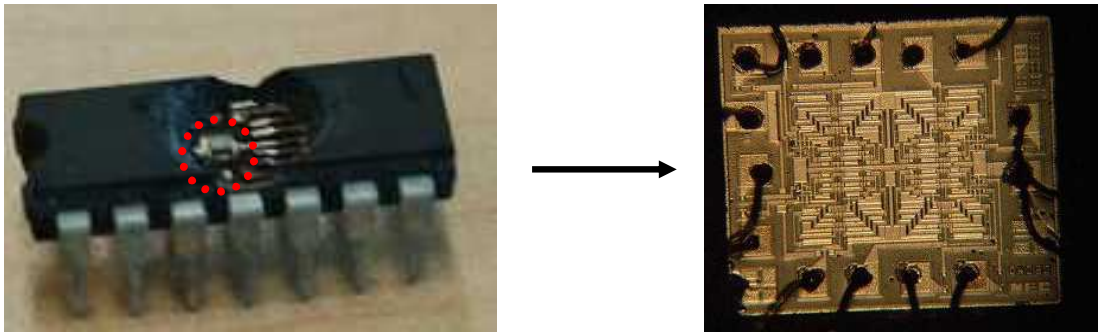


図.1.9　チップから回路の拡大

1.4　研究の目的

故障解析の手順は、故障の把握、外観チェック、入力出力の関係の後、パッケージを開封し、光学顕微鏡による観察、RIE(Reactive Ion Etching)加工、プローブでの電気特性、EDX などの元素分析、検証の手順で行われる。ここで、本研究の目的は RIE 加工の現象を研究することである。そして、本論文の内容は以下の通りである。

① RIE 装置の原理について示す。

② 異方性と等方性の違いについて SEM 像を見比べることで構造の違いを述べる。

③ 異方性と等方性の違いからわかる等方性の欠点について述べる。

④ RIE 装置で異方性、等方性を作り出す条件について述べる。

⑤ 時間変化によってサンプルに与える影響を述べる。

2章　RIE 装置の原理

2.1　ウエットエッチングとドライエッチング

故障解析の流れの中でパッケージ開封という工程があったが、これは液体の薬品を使ってのエッチングであり、ウエットエッチグと呼ばれている。ウエットエッチングは薬品を使って物質と反応さしてエッチングするものである。そして、RIE 装置のエッチングはドライエッチングの一つであり、反応性のエッチングガスやイオンでエッチングをする方法である。
利点と欠点は図 2.1 のようになる。

	ウエットエッチング	ドライエッチング
利点	・大量のサンプルをエッチングできる。 ・液体の薬品のコストがあまりかからない。	・縦方向だけのエッチングができる。 ・エッチングレートは条件を設定することで統一にエッチングできる。
欠点	・液体の薬品のため縦方向だけではなく横方向もエッチングしてしまうため微細加工が難しい。 ・発煙硝酸を温めてからエッチングするため温度によってのエッチングレートにばらつきがある。	・装置のコストがかかる。 ・サンプル周辺の物がスパッタされるのを防ぐため保護シートを使うことが必須であり1つずつのエッチングになる。

図 2.1　ウエット、ドライエッチングの利点と欠点

発煙硝酸でのエッチングではウエットエッチングの利点が活用され、RIE 装置ではドライエッチングの利点が活用され開封の工程では理想な形となる。

2.2　ウエットエッチングでの開封の流れ

1.3 で開封の流れを簡単にしたが、ここで具体的にどのように開封をするかを説明する。

発煙硝酸でのエッチングでは図 2.2～図 2.5 の流れで行っている。
図 2.2 では、LSI の足の腐食を防ぐためアルミテープで周りを囲って発煙硝酸が入ってこないように保護する。次に、図 2.3 では発煙硝酸での開封で時間を短縮するためにドリルで回路に傷つけないようにある程度削る。ドリルでの開封は時間の短縮のためであり、なければアルミテープを巻く工程の前に LSI 上部を鑢等である程度削っておく。図 2.4 で発煙硝酸を使い開封していくが、あらかじめ発煙硝酸をビーカーに入れヒーターで約 60 度～70 度に温めてからアルミテープで囲った LSI をビーカーに入れる。その時、LSI のパッケージと発煙硝酸

が反応して煙が出るため換気は十分にしておく。図 2.5 での発煙硝酸で穴を開けた LSI では発煙硝酸がまだ残っているためアセトンで洗浄してアルミテープをはがした後、超音波洗浄機で回路表面に残っているゴミ（パッケージ）を取り除く。目できれいに洗浄したかの確認は難しいが、開封して見えているチップが光っていたら完成品が出来上がる。それでも少し残っているようならスポイト等でチップに一滴たらして後はアセトンで洗浄の繰り返しとなる。

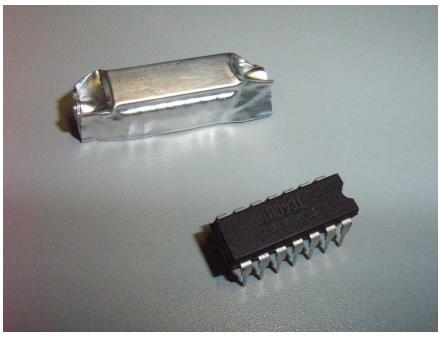


図 2.2　LSI のサンプル

図 2.3　ドリルでの開封

図 2.4　発煙硝酸での開封

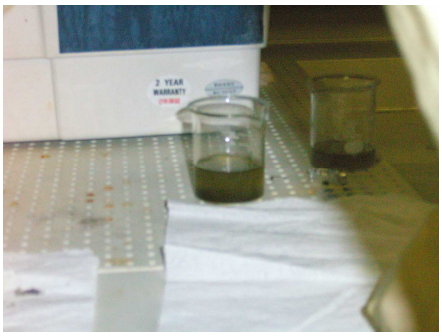


図 2.5　アセトンでの洗浄

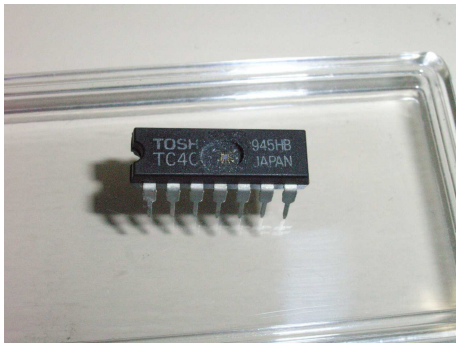


図 2.6　開封した LSI

2.3　エッチングガス

発煙硝酸により開封後 RIE 装置で絶縁膜の除去を行う。図 2.7 の中央の図は RIE 装置でありドライエッチングを行う。エッチングガス CF_4、O_2 の流れは RIE 装置にガスが入りそこでエッチングされる。エッチングで生成されたガスは真空ポンプで引き込み、そこから出たガスを図 2.7 の左の機械で無害なガスにして大気外へ放出する。CF_4 は四フッ化炭素でフロンの一種である。また、四フッ化炭素は室温効果ガスでもあり、これを直接大気外へ放出することは環境破壊につながるため無害なガスにして放出する。CF_4、O_2 をエッチングガスとして使う理由は絶縁膜が SiO_2、SiN 等であるためである。

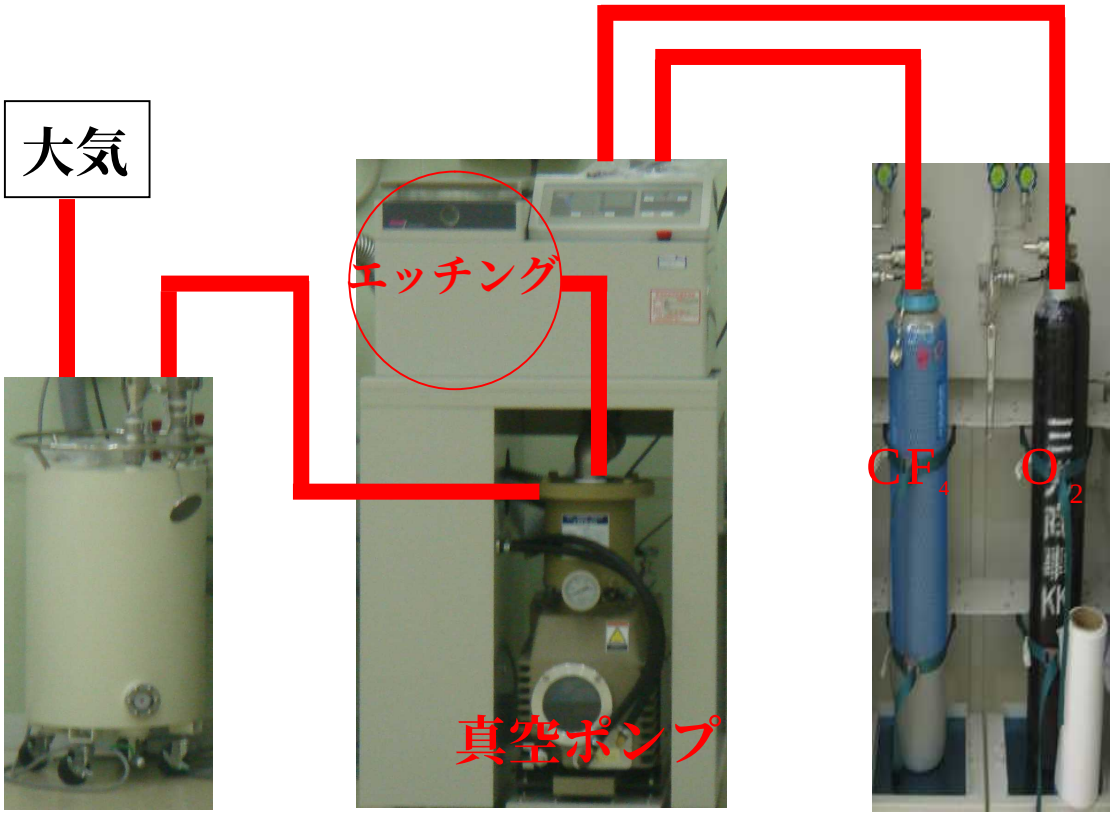


図 2.7　RIE 装置

2.4　RIE 装置の仕組み

図 2.7 のエッチングする部分は下図 2.8 のようになっている。ふたは開くようになっておりその中に順番に下部カバー、アダプタ、サンプル上部カバーの順番でセットしていく。サンプルと上部カバーの間にマスク、ポリイミドテープ等でエッチングする箇所以外をすべて覆い隠す。その理由として、アダプタに直接サンプルを置きエッチングするとアダプタやパッケージがスパッタされそのスパッタされたものがサンプル上に飛んでくる可能性があるためである。ポリイミドテープは耐熱性に優れており不必要なスパッタを防いでくれる。

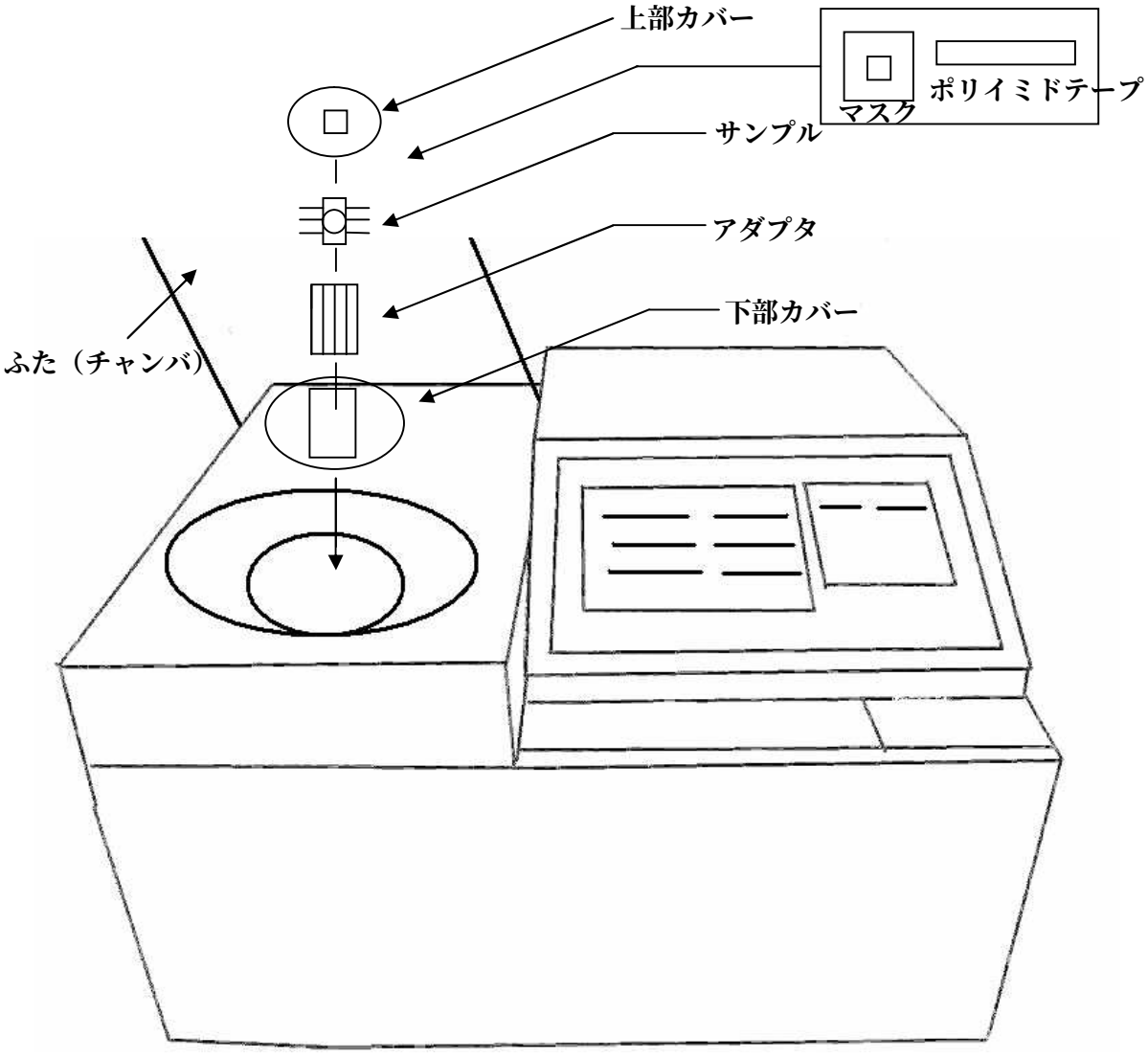


図.2.8　RIE 装置の設置

今回は RIE 加工の現象を研究することであるためサンプルはパッケージを発煙硝酸ですべて溶してしまう。又、足となるポートもすべて取り外して図.2.9 のように銀メッキ、IC チップだけにしてしまう。これは次の項目で説明するグラス

を防止するためであり、上記で書いたパッケージがスパッタされチップに飛んでくることを防ぐためである。図 2.10 はアダプタのスパッタを防ぐための工夫であり、アダプタの表面上に IC チップ以外をポリイミドテープで覆い隠すことで解決するものである。

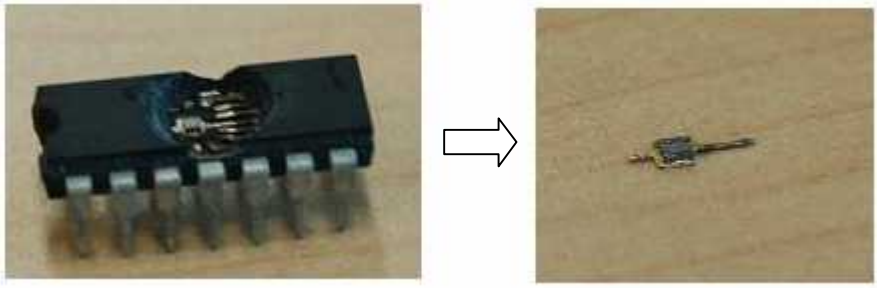


図 2.9　パッケポージのスパッタを防ぐ工夫

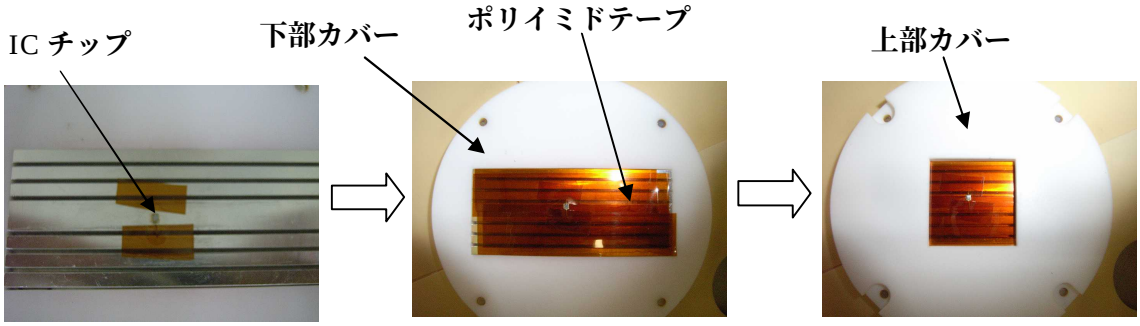


図 2.10　アダプタのスパッタを防ぐ工夫

2.5　グラス

グラスは絶縁膜上にとがった絶縁膜が生えて出てきたようになっている状態のことである。グラスはチップ以外のものからスパッタされたものが蓄積されてできるものである。パッケージがスパッタされることでこのような現象が起きるがエッチングガスが絶縁膜と反応が出来にくくなった時重合を起こしやすくなり、またその重合物がエッチングをしても残る程度になった時グラス現象が起こる。グラスの防止は上記に示したようにできるだけエッチングする部分以外をポリイミドテープ等で隠すことである。

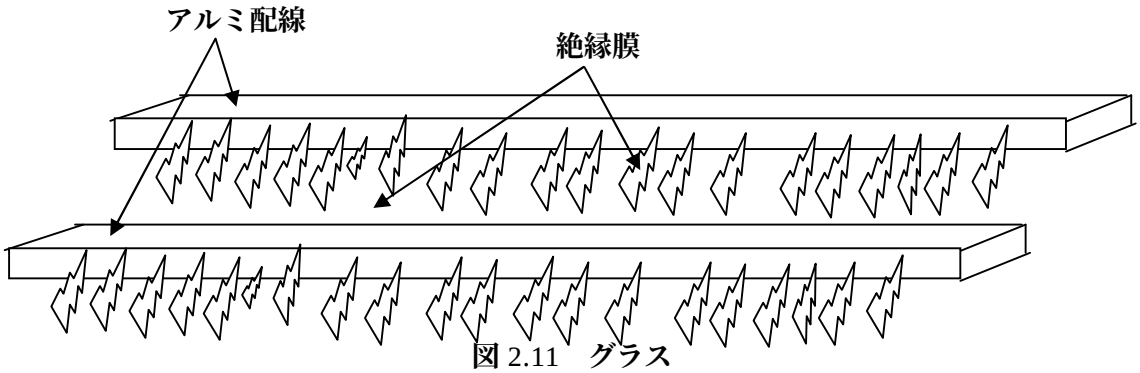


図 2.11　グラス

2.6　チャンバ内

チャンバを閉め CF_4、O_2 の流量を決定の後 RIE 装置をスタートさせるとチャンバ内は真空ポンプにより気体を吸い出し真空度を高める。そこでサンプルなどを置いたステージ側から高周波電源をかけてやることで気体中に強い電界を印加させ絶縁膜破壊を生じさせる。高周波（Hz）をかけることによりチャンバ内に入った混合ガスはそれぞれプラスイオンとマイナスイオンに別れ図 2.13 のようなプラズマ状態を作る。そして、サンプル側に負の電荷をかけてやることでプラズマとサンプルのステージ側との電位差が生じる。これをシース電位と呼んでいる。シース電位はプラスイオンを加速させる働きがあり、またステージ側に高周波（W）をかけてやることによりプラスイオンは垂直にサンプルに衝突させる事が出来る。

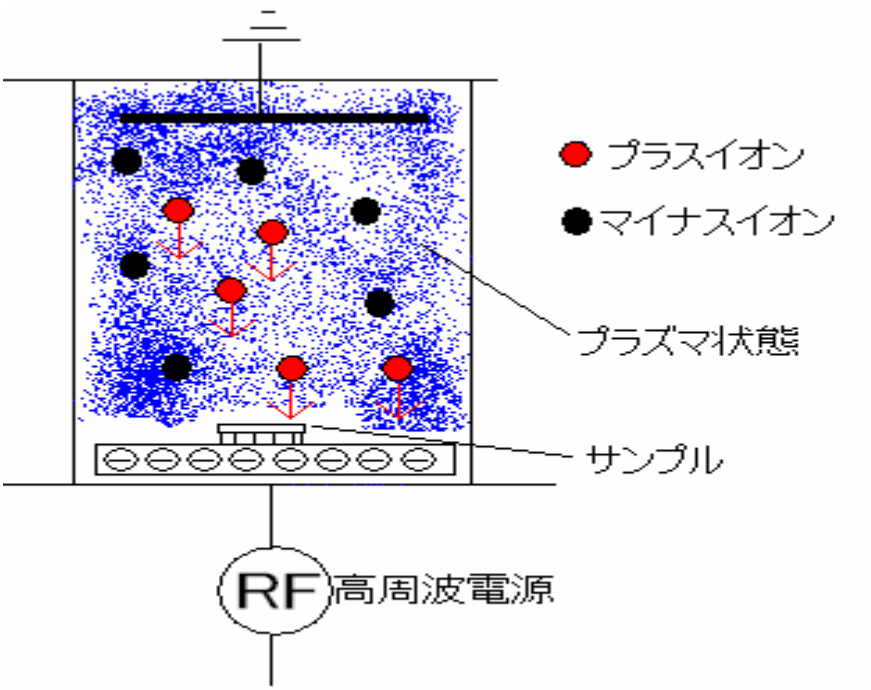


図 2.12　チャンバ内

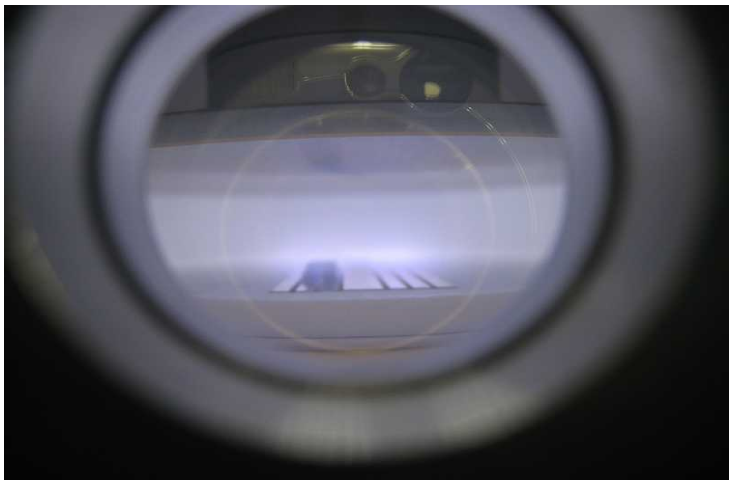


図 2.13　チャンバ内のプラズマ状態

2.7　絶縁膜の反応

絶縁膜は図 2.14 のような状態である。アルミ配線はほとんど見えなくなっているがうっすらと形が浮きだって見えているのがわかる。絶縁膜の構成は図 2.15 に示すようにアルミ配線間に SiO_2、SiN 等の絶縁膜がありその上にポリイミド膜がある。絶縁膜の働きはアルミ配線の保護のためであり、なければクロストーク現象などが起き配線間に電気が溜まりキャパシターのようになってしまう。

プラズマで分解されたエッチングガスは式(2.16)のように CF_4 はフッ素､四フッ化炭素に分解される。そして絶縁膜 SiO_2 に対する働きは式（2.17）のようにフッ素、四フッ化炭素と反応してフッ化ケイ素、二酸化炭素になる。得られたフッ化ケイ素、二酸化炭素は真空ポンプによって引き込まれていく。
SiN に対する反応は不明である。
アルミ配線もイオンによってエッチングされるがエッチングされたものは固体でありアルミ配線上に積もっていき、そして再びそれらはエッチングされるためほとんどアルミ配線のエッチングは進行されない。

※ポリイミドテープでアダプタ等の保護を行いスパッタを防いだが、RIE 装置によってのエッチングでポリイミドテープは 100%ダメージを受けていない事はなくポリイミドテープ自体がダメージを受けることでアダプタ等のスパッタを軽減している。図 2.18 に示す使用前と使用後では色がずいぶん薄くなっていることがわかる。よって、回路の保護であるポリイミド膜は RIE によって削れるものである。

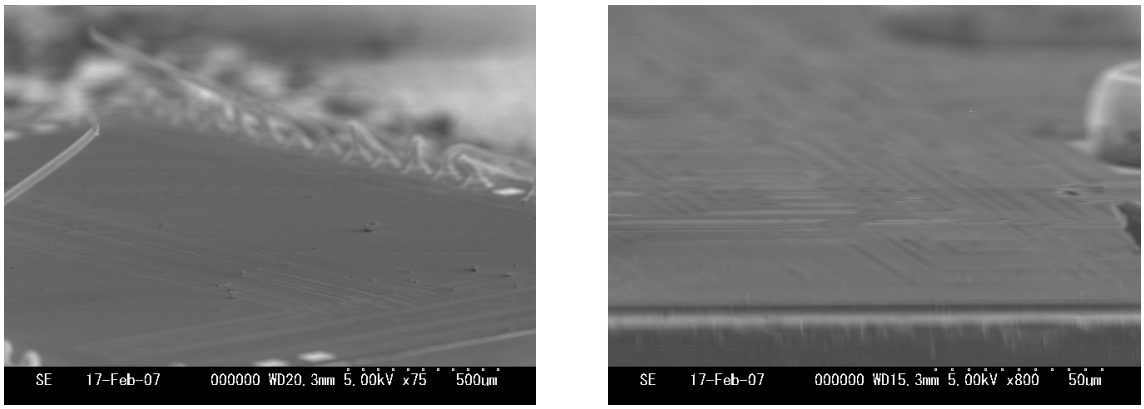


図 2.14　絶縁膜が残っている IC

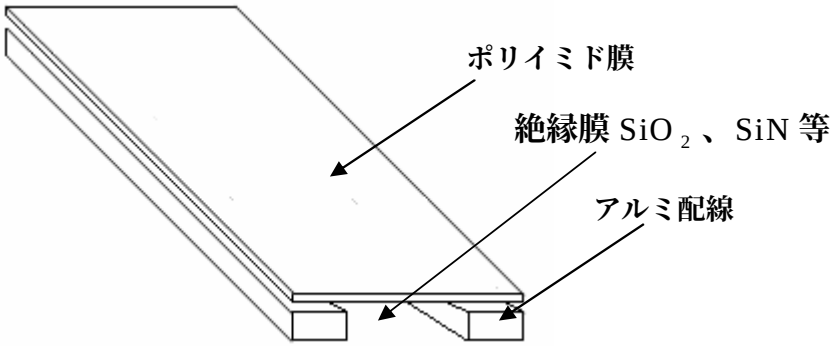


図 2.15　絶縁膜の構成

$$CF_4 \rightarrow \quad 2F \quad + \quad CF_2 \qquad (2.16)$$

$$SiO_2 \quad + \quad 2F \quad + \quad CF_2 \quad \rightarrow \quad SiF_4 \quad + \quad CO_2 \qquad (2.17)$$

図 2.18　RIE によるダメージ

3章　異方性と等方性

3.1　RIE の条件設定

RIE 装置では CF_4、O_2 などの値を変えることでエッチングの仕方が変えることができる。条件設定は図 3.1 を見てわかるように RIE 装置のチャンバ横にあるデジタル式の数値を変えることで出来る。
装置は２ステップで動くようになっている。１ステップは真空度、CF_4 の流量、O_2 の流量、時間、高周波出力それぞれ数値を入れメモリ番号でその条件を覚えさす。次に２ステップとして覚えさしたメモリ番号と同じ数値を入れる。その後はスタートを押すとチャンバ内が真空引きされる。
ここで注意することは真空度の設定とガスの流量の合計したものは図 3.2 のグラフ内に入るように設定をしなければならない。

図 3.1　エッチング条件の設定

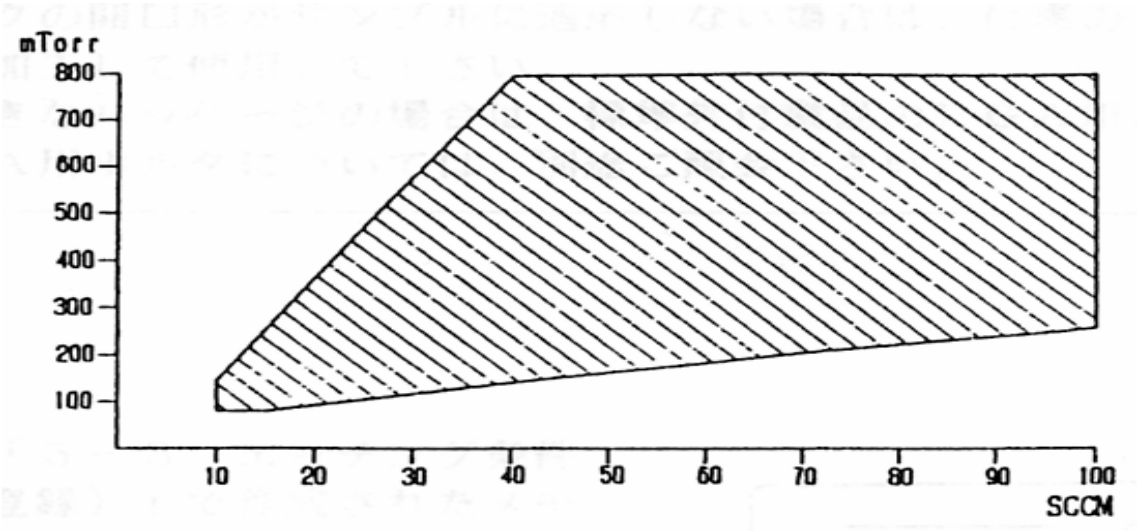


図 3.2　真空度とガスの全流量の範囲

3.2　異方性と等方性

RIE 装置の真空度、CF_4 の流量、O_2 の流量、時間、高周波出力それぞれ数値を変えてやることにより異方性、等方性にエッチングができる。

異方性とはイオンを縦方向にエッチングする性質の事である。図 3.3 に示すように上層絶縁膜は縦方向垂直に削れておりアルミ配線下の下層絶縁膜はしっかり残っている。

等方性とは縦、横両方向にエッチングする性質のことである。図 3.4 に示すように上層絶縁膜は削れておりアルミ配線下側の下層配線も削り取られている。エッチングする方向は縦、横両方向なのでアルミ配線下側の下層絶縁膜は弧を描くように削れる。

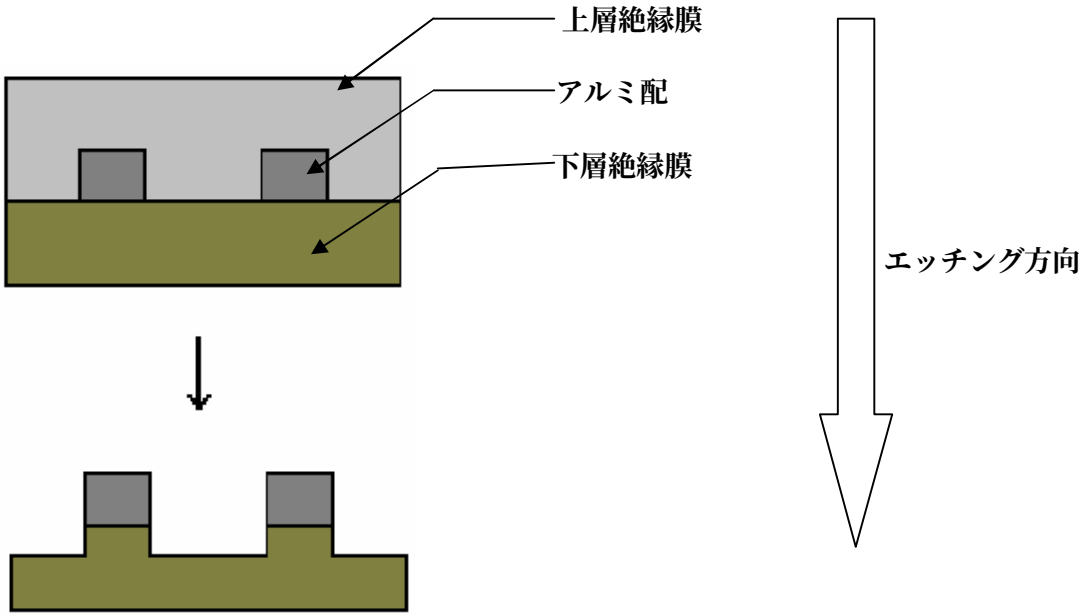


図 3.3　異方性の性質

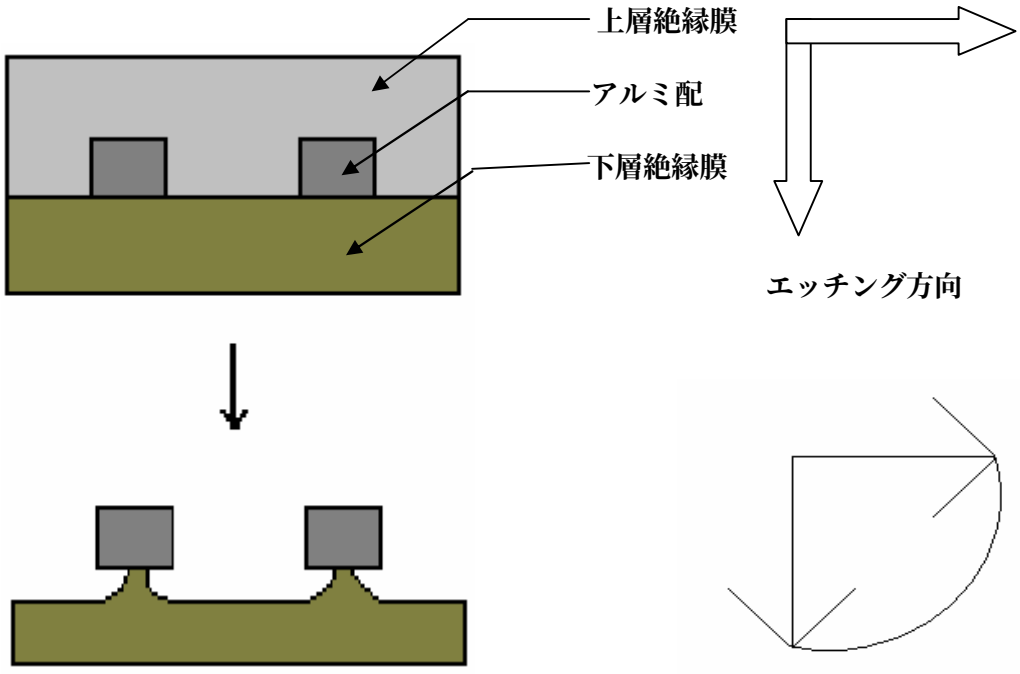


図 3.4　等方性の性質

3.3　SEM 像による異方性と等方性

RIE 装置の取扱説明書において書いてある表 3.5 の通り強い異方性、等方性の条件にしたがってエッチングを行った。時間に対してエッチングの度合いが変わると考えられるがここではもっとも最適だと考えられた時間でエッチングを行った。SEM 像で見た画像を図 3.6、図 3.8 に示す。また、それぞれの画像の横から見た構造を図 3.7、図 3.9 に示す。

強い異方性の条件でエッチングを行った図 3.6 は上層絶縁膜すべてエッチングされておりアルミ配線は露出されている。アルミ配線横を見ると多少アルミ配線はエッチングされているが配線下の下層絶縁膜はエッチングされることなく残っており異方性の状態が見られた。

等方性の条件でエッチングを行った図 3.8 の左図を見ると右のほうにアルミ配線の下側がエッチングされており影が出来ているのが見られた。これは等方性の特徴で横からエッチングされたのが分かる。また、左の図の左のほうをアップしたのが右の写真だが、アルミ配線の角が中に浮いているのも見られた。

図 3.8 の黒い山のようになっている部分は絶縁膜がまだ残っている状態である。これは RIE をする前にボンディングワイヤーが上にありその部分の絶縁膜ほとんどが残ってしまった状態である。

エッチング条件		強い異方性	等方性
真空度		120mTorr	300mTorr
ガス流量	CF 4	20sccm	40sccm
	O2	10sccm	20sccm
高周波出力		80W	80W
ステージ温度		30℃	30℃
時間		9 分	17 分

表 3.5　エッチング条件

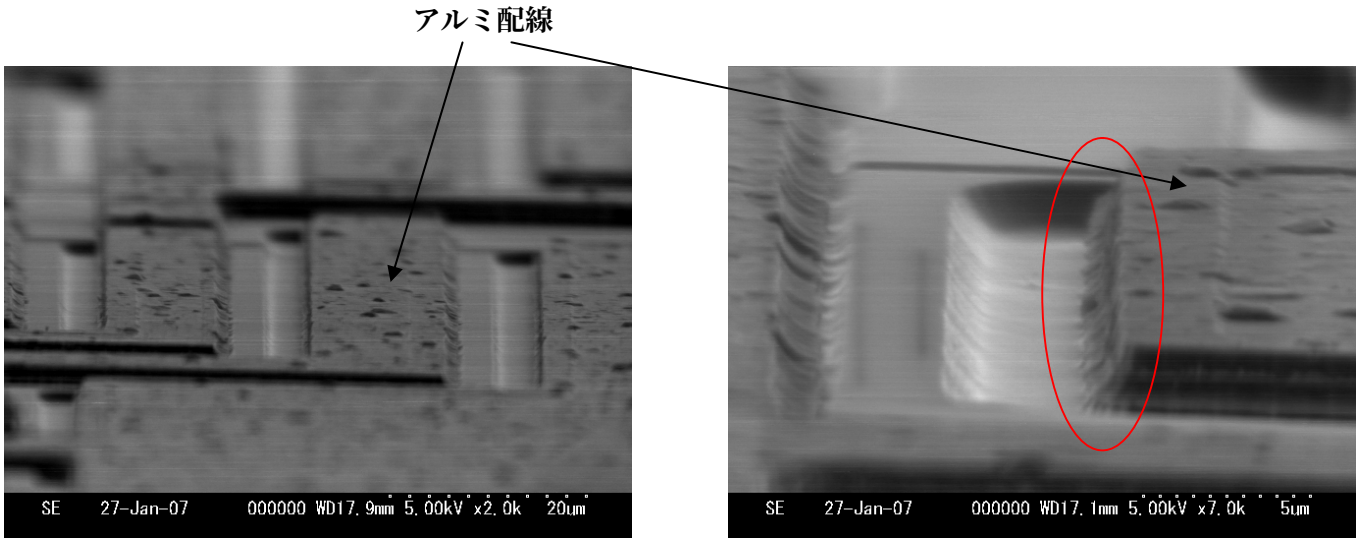


図 3.6　異方性

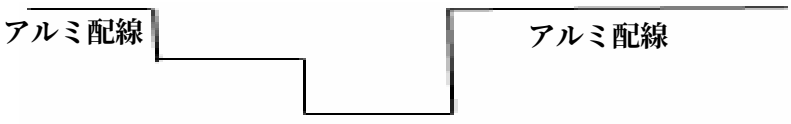


図 3.7　図 3.6 右図の横から見た構造

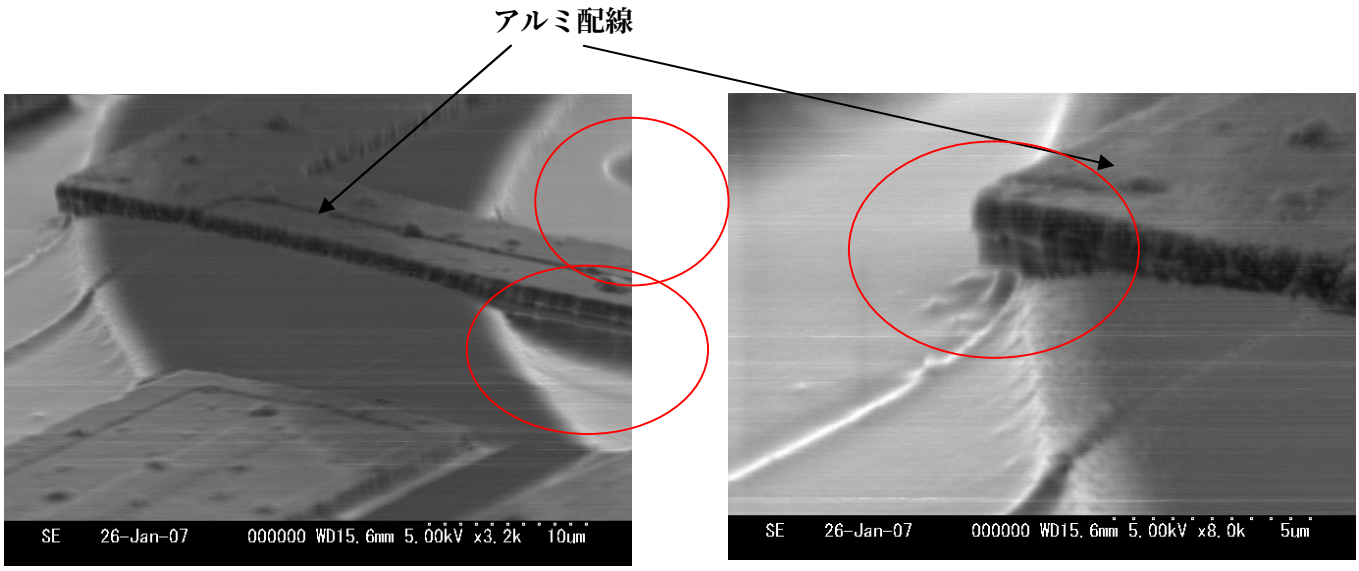


図 3.8　等方性

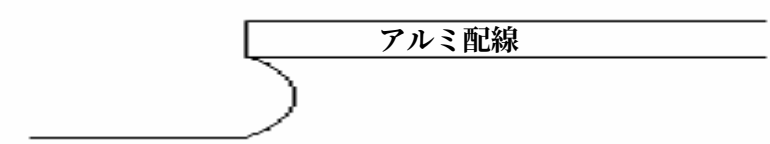


図 3.9　図 3.8 右図の横から見た構造

3.4　等方性の欠点

3.3 の SEM で見た画像の IC は一層の回路で出来ている。等方性の画像を見る限りではほとんど問題がないように見える。しかし、現在多層配線で構成されているなかで等方性の条件で RIE を行った場合、上の配線は絶縁膜がなくなることにより支えるものがなくなり図 3.10 のようになりショートした状態になる。このような場合そのもの自身が故障を起こしてしまい故障解析はできなくなる。RIE 装置でのエッチングはエッチング条件次第で異方性、等方性になってしまうためどのような条件の時異方性、等方性なのかを見分ける必要がある。また、物質によってもエッチングのされ方が違ってくることも分かったので条件の決定は物質も考慮して考えなくてはならない。

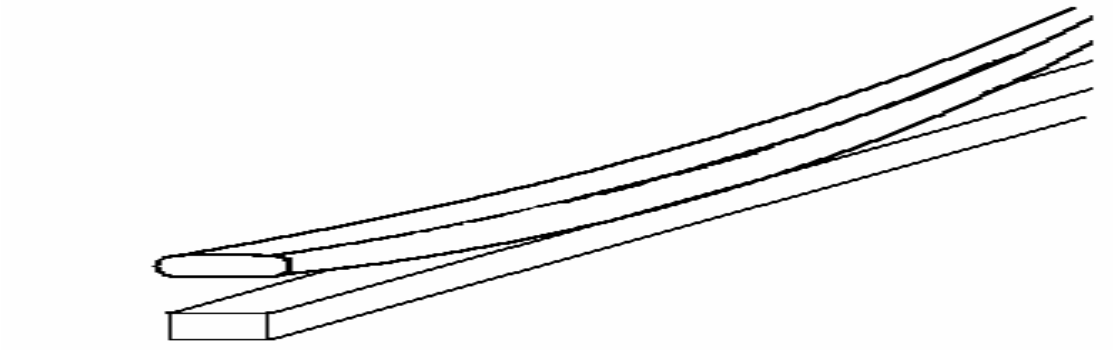


図 3.10　**多層配線での等方性エッチング**

4章　エッチング条件選択

4.1　真空度

条件の選択に真空度があるが真空度の単位は Torr（トル）で表される。1Torr は Pa(パスカル)に変換すると 133.32Pa である。身近に N(ニュートン)で表すと 1Pa は 1N/m^2 であるので 133.32 N/m^2 になる。真空度が低ければ低いほど良い真空状態であり、真空度が高ければ高いほど真空度はいい状態ではないといえる。例えば表 3.5 の強い異方性の場合 120mTorr であり等方性の 300mTorr と比べて良い真空状態である。これはより良い真空であればチャンバ内にあるイオンの運動方向が揃いサンプルに垂直方向に加工できる点で良い真空度で行っている。垂直に加工しなければならない異方性では真空度の値はより小さいほうが良いと考えられる。

4.2　エッチングガス

ガスの流量は sccm(standard　cc／min）で表されている。standard とは 0℃あるいは 25℃など一定温度で規格化されたという意味であり、cc/min は 1 分間あたり何 cc という形式である。

エッチングガス CF_4、O_2 は多ければ多いほどチャンバ内のイオンの数が増えサンプルにイオンを衝突させる量が多くなると考えられる。衝突させるイオンの量が多くなる事はエッチングスピードも速くなると考えられ、より短時間で RIE 装置でのエッチングが出来ると考えた。しかし、エッチングガスが多くなることでの欠点は真空ポンプの排気量が決まっており、ある程度のエッチングガスではないと真空ポンプは排気してくれなくなる。このようなことから図 3.2 のグラフ内に入るように設定しなければならない。今回実験で使用した RIE 装置でグラフ外の設定を行った結果設定した真空度に到達しなくなり、チャンバ内がプラズマ状態にはならなかった。

4.3 高周波出力

高周波出力の条件設定は不明な点が多い。RIE 装置の仕様では 20W～150W で設定できるようになっている。低い周波数出力、高い周波数出力のメリット、デメリットは不明であるが、高周波出力を変えることでシース電位が変化し、出力が高ければシース電位が大きくなりイオンのスピードがより加速されより大きくエッチングが出来るのではないかと考えられた。ここでの問題は、加速が増したイオンが絶縁膜に対して大きく削ることはいいがアルミ配線に大きなダメージを与えるのではないかという問題が考えられる。RIE 装置での推奨エ

ッチング条件は表 4.1 に示す。ここでの高周波出力は 80W で統一されていたので不明な点が多いため、ここでの研究では高周波出力の条件を 80W にして統一することにした。

4.4　温度

温度はステージ温度のことであり、仕様では 30℃～70℃になっている。表 4.1 を見るとステージ温度は 30℃となっている。IC は温度によって故障を起こすことがありステージ温度が高いことで故障することもありえるので仕様の最低温度に設定していると考えられる。ステージ温度によってサンプルに与えるメリットは不明である。ここでの研究では仕様通り 30℃にしている。

エッチング条件		強い異方性	等方性
真空度		120mTorr	300mTorr
ガス流量	CF 4	20sccm	40sccm
	O2	10sccm	20sccm
高周波出力		80W	80W
ステージ温度		30℃	30℃

表 4.1　推奨エッチング条件

4.5　時間

推奨エッチング条件には時間の指定はないが表 4.2 のエッチングレートが書いてある。この時のエッチングレートは表 4.1 の条件で行った場合のエッチングレートである。表 4.2 は物質に対して 1 分間にどれだけエッチングされるのかを見るものであり、1Åは 0.1nm であり 0.0001μm である。SiN、PSG、熱酸化膜はそれぞれ 1 分間に異方性の場合 0.4μm、0.2μm、0.12μm エッチングされる。等方性の場合それぞれ 0.5μm、0.1μm、0.06μm であ。ここで、ポリイミドを含めた絶縁膜の厚さを 1～2μm として考えるとそれぞれの時間は式（4.3）により求めることができ、表 4.4 のようになる。仕様の時間は 0～99.9min 設定できるようになっているので表 4.4 の時間は問題なく設定できる。

推奨エッチング条件の真空度、ガス流量、高周波出力、ステージ温度を変えずに時間だけを変えることでサンプルに与える影響を見て、時間の条件設定を特定する。

エッチングレート	強い異方性	等方性
SiN	4000 Å /min	5000 Å /min
PSG	2000 Å /min	1000 Å /min
熱酸化膜	1200 Å /min	600 Å /min

表 4.2　推奨エッチングレート

絶縁膜の厚さ　÷　エッチングレート　＝　時間　　（4.3）

時間(min)	強い異方性	等方性
SiN	2.5～5	2～4
PSG	5～10	10～20
熱酸化膜	8.3～16.6	16.6～33.3

表 4.4　絶縁膜を 1μm～2μm として考えたエッチング時間

5 章　時間の特定

5.1　時間の選択

前章でエッチング時間は表 4.4 に書いたが、異方性、等方性とも熱酸化膜に注目しその時間によりどの程度絶縁膜がエッチングされたかを見る。時間は初めの 8.3 分を四捨五入して、8〜16 分なので、8、9、10・・・分に変えていきエッチングし終わった後随時見ていく。そして、ほとんどエッチングが出来た状態の時終了する。等方性も同様に 17、18、19・・・分に変えて随時見ていくことにする。サンプルは図 1.8 の IC で行うことにする。

5.2　時間変化によるサンプル

エッチング条件を変える事でサンプルに変化が見られた。図 5.1 は発煙硝酸でエッチングを行った直後にとった写真でありアルミ配線上は緑がかっておりほとんど絶縁膜が残っている状態である。多少赤みがかった箇所は発煙硝酸によって削れたものである。

異方性の図 5.2 で 8 分エッチングをしたアルミ配線上はフラッシュによって色は青く見えているが多少これも絶縁膜が残っている事がわかる。次に図 5.3 の 9 分エッチングしたものを見てみるとアルミ配線上にはほとんど絶縁膜はなくなっている。多少ボンディングワイヤー付近では黒みがかかって絶縁膜が残っているように見られるが上層絶縁膜はなくなったと考えられる。この画像は図 3.6 と同じ状態である。図 5.4 での 10 分では完璧に絶縁膜の除去はされている。

等方性の図 5.5 で 17 分エッチングをした場合、画像左上から右下にかけてエッチングを行っていた時にボンディングワイヤーがあり RIE 後ボンディングワイヤーをどけた画像が見られる。ここでは左の箇所を見てみると若干黒みがかっているのが見られる。これは図 5.3 と同じ状態でほとんどアルミ配線上の絶縁膜はなくなっている事が分かる。この画像は図 3.8 と同じ状態である。次に図 5.6、5.7 を見比べてみると全く変化は見られなかった。これは上層絶縁膜すべて除去できた状態である事がわかった。

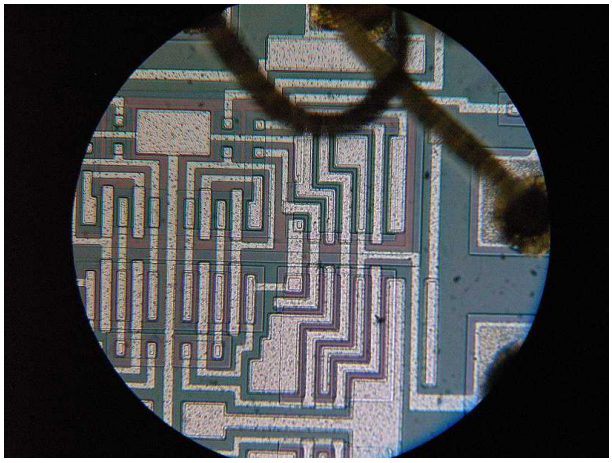


図 5.1　発煙硝酸後回路

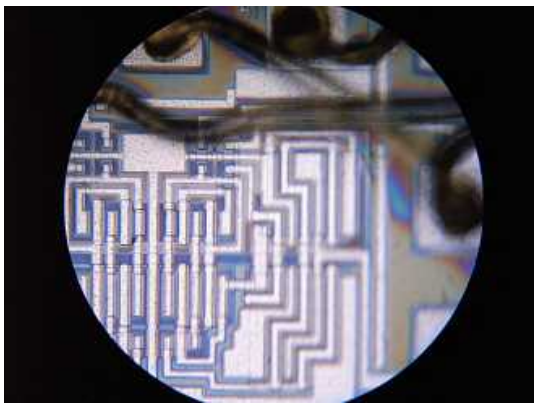


図 5.2　異方性条件で 8 分 RIE をかけた回路

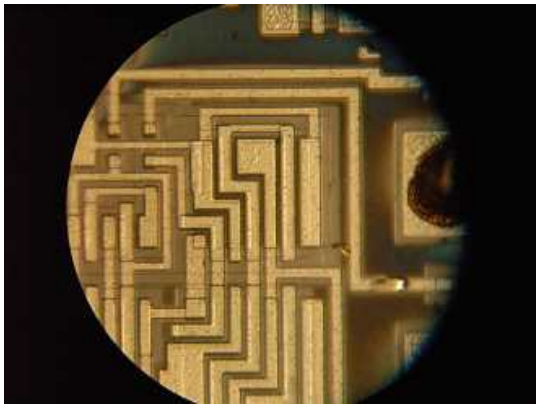


図 5.3　異方性条件で 9 分 RIE をかけた回路

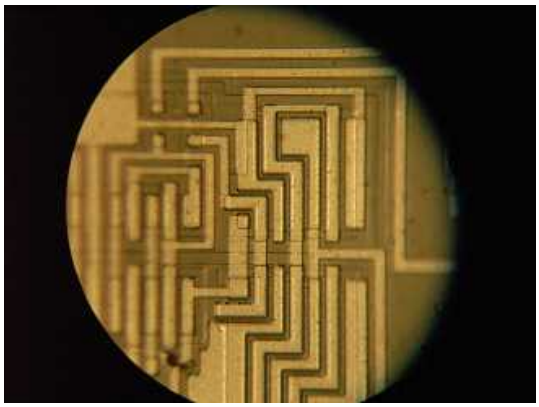


図 5.4　異方性条件で 10 分 RIE をかけた回路

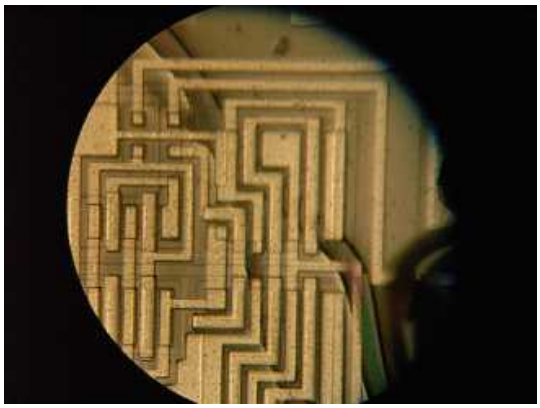


図 5.5　等方性条件で 17 分 RIE をかけた回路

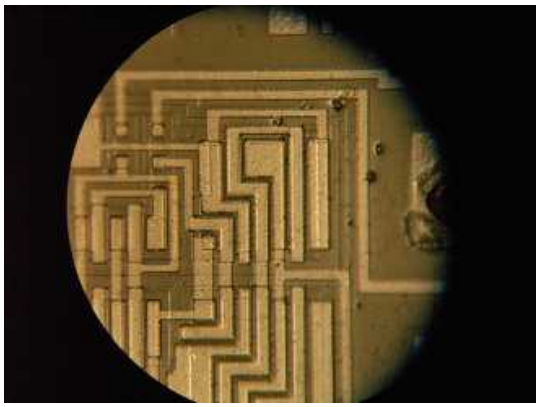


図 5.6　等方性条件で 18 分 RIE をかけた回路

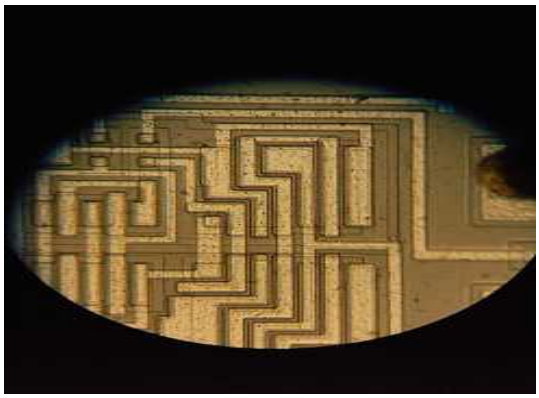


図 5.7　等方性条件で 19 分 RIE をかけた回路

5.3　SEM 像での確認

前節で異方性、等方性の最適エッチング時間はそれぞれ 9 分、17 分と分かった。ここでそれらを本当に上層絶縁膜がエッチングされているのかを確認するために SEM 像での確認を行う。画像はそれぞれ図 5.8、5.9 に示す。これら異方性、等方性とも図を見て分かるように上層絶縁膜はすべて除去されている。等方性の図を見てみると下層絶縁膜がエッチングされている事が分かる。特に右下の画像はアルミ配線下の絶縁膜がエッチングされ影になっているのがわかる。ここでの異方性、等方性の条件は表 3.5 の通りである。

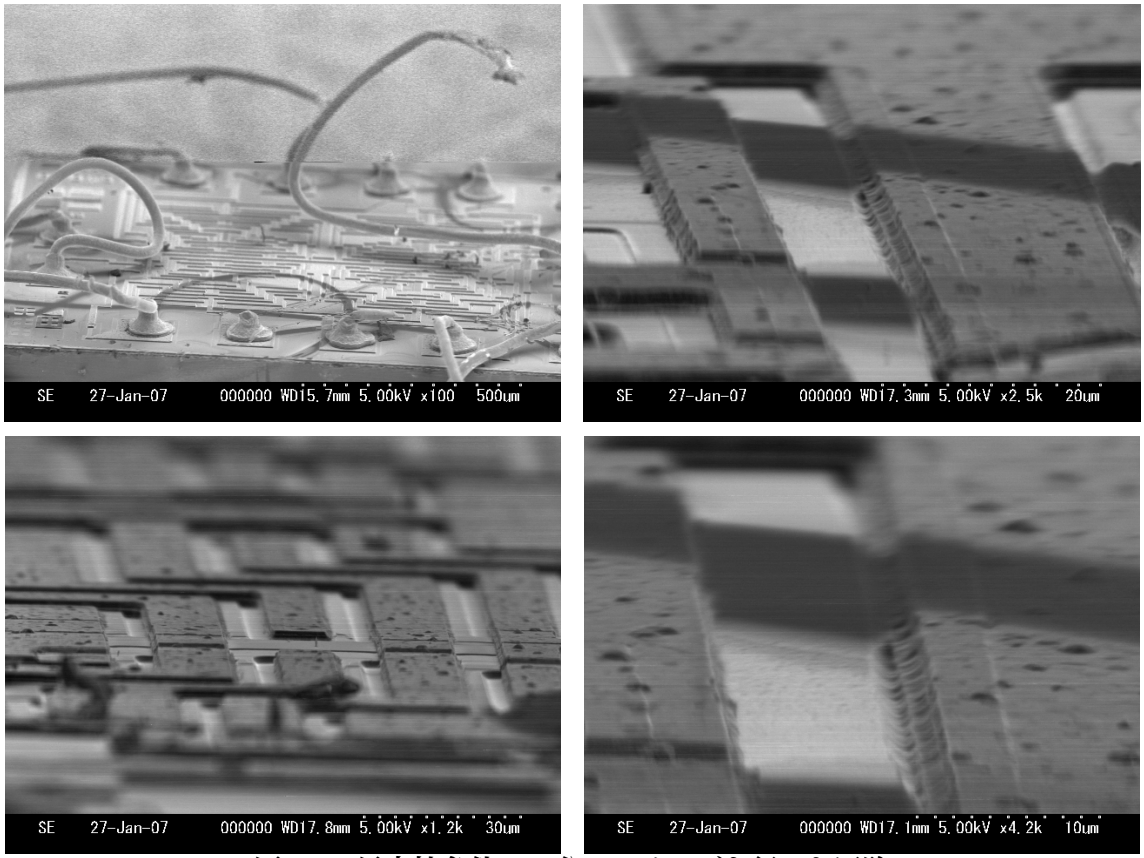


図 5.8　異方性条件で 9 分エッチングを行った回路

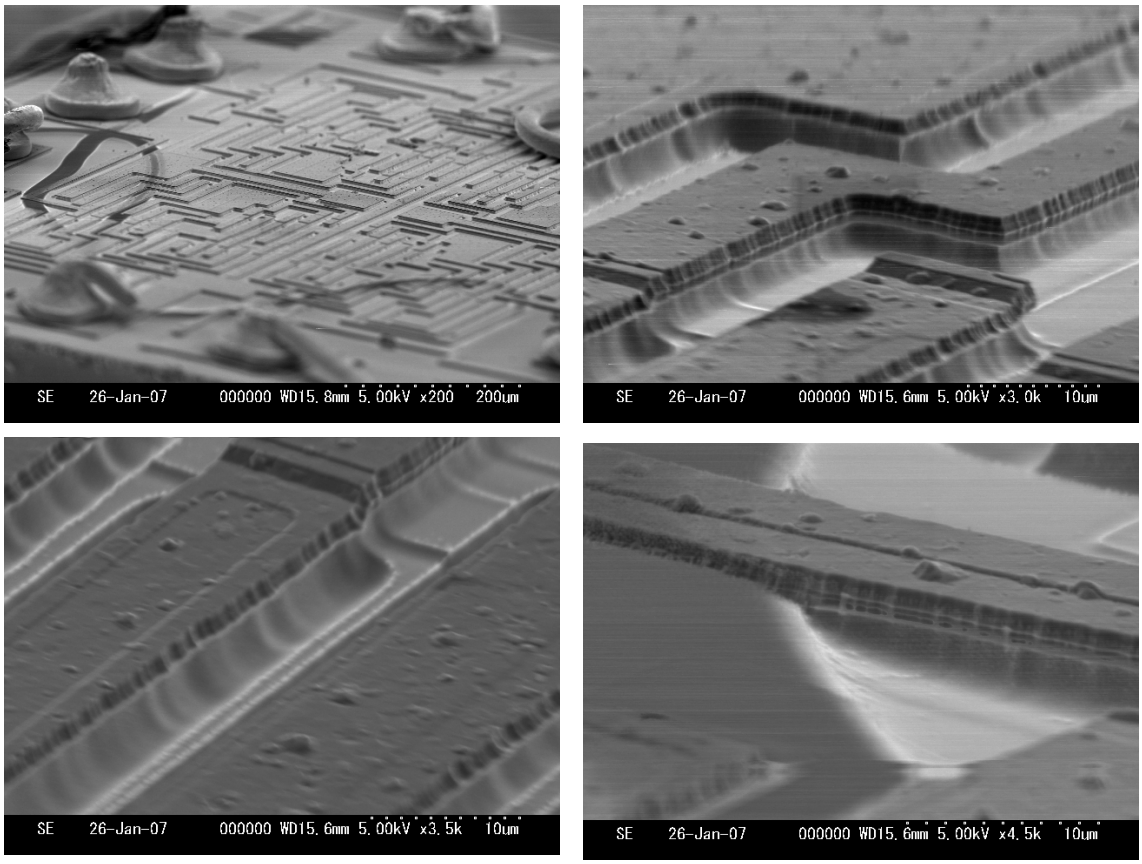


図 5.9　等方性条件で 17 分エッチングを行った回路

6 章　多層配線でのエッチング

6.1　多層配線においてのエッチング

現在の LSI では多層配線が主となっている。多層配線では基本的に等方性の条件でエッチングを行うと図 3.10 のような現象が起こり回路自体だめになってしまうため避けなければならない。しかし、配線間の絶縁膜も多少削れたほうがより完璧なエッチングが出来ると考え今回は表 6.1 の条件で行うことにする。真空度 200mTorr は、図 3.2 を見ると分かるように、多層配線においてより反応を多くするためにガス流量を多くしたため真空度を上げることで出てきた数字である。また、今回高周波出力を 100W にする。時間はガス流量を多くしたため一層配線と同じように 8 分にする。なおサンプルはいらなくなったパソコンの一部を使用する。

エッチング条件		強い異方性
真空度		200mTorr
ガス流量	CF 4	40sccm
	O2	20sccm
高周波出力		100W
ステージ温度		3 0℃
時間		8 分

表 6.1　多層配線においてのエッチング条件

6.2　エッチング後（顕微鏡）

上記のエッチング条件で行った結果図 6.2 の通りになった。図 6.2 はポリイミド膜がなくなっていると考えられ、上と下との配線に遠近感が見られた。顕微鏡で見る限りでは絶縁膜はすべて除去できたと考えられる。

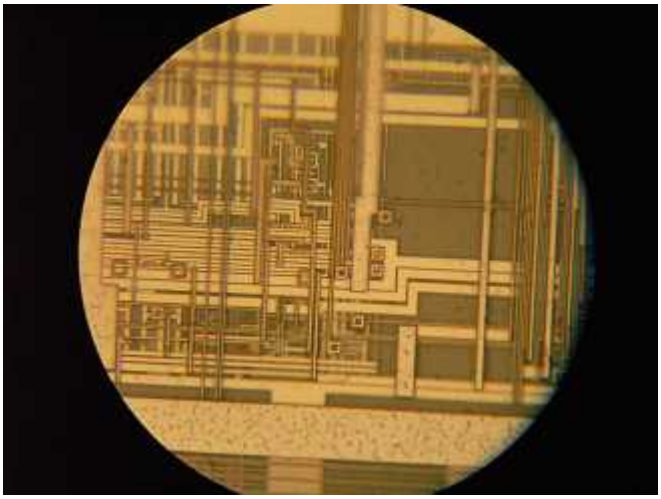


図 6.2　RIE 後

6.3　エッチング後（SEM）

顕微鏡で見る限りでは絶縁膜は除去できたと考えられたが、SEM で撮った図 6.3 をみると絶縁膜はほとんどエッチングされていなかった。中央部分上から下にかけてみてみるとほとんど黒色に写っている。これは顕微鏡ではみられなかった絶縁膜である。

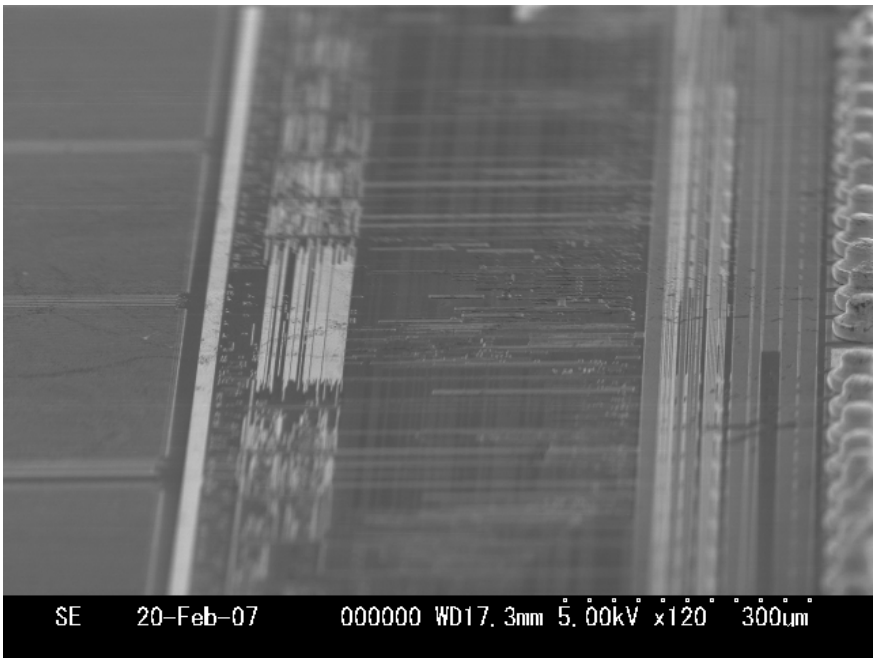
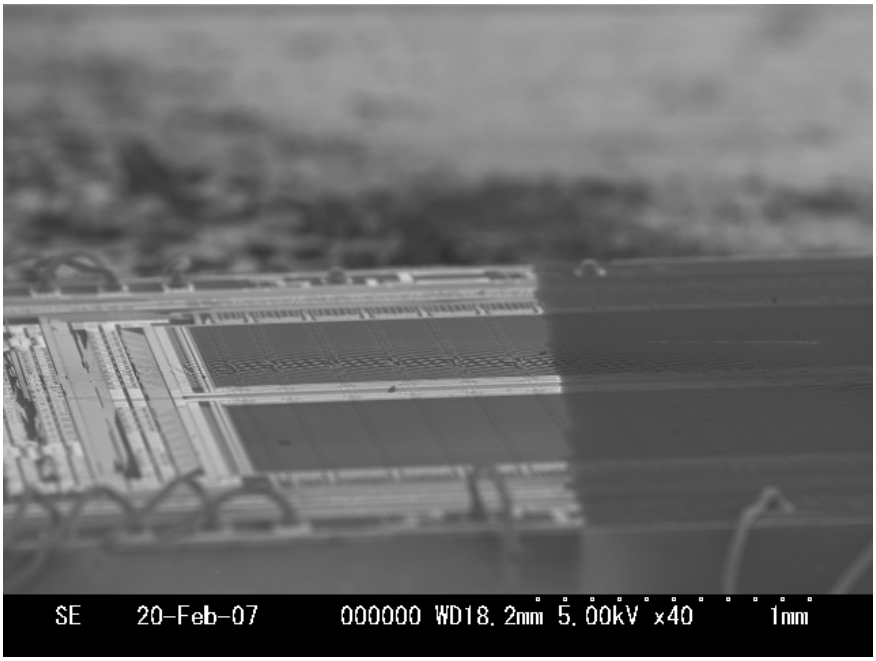


図 6.3　RIE 後

図 6.4 は別の多層配線であり、ポリイミドテープを右半分の回路に張ってやり右と左とで RIE 前と RIE 後を比べた図である。顕微鏡でみたところ RIE 前と RIE 後での境目は全く分からなかった。しかし、SEM でみると境目がはっきりと分かり絶縁膜は黒く写っている事が分かる。



考察

今回の一層配線でのサンプルでの最適エッチング条件は表 3.5 の通りである。プローブでの測定を行うためには異方性が必須であり、SEM を見て分かるように異方性条件でやることにより 2 つの利点が見つかった。一つは等方性条件よりも時間が短く加工できることである。異方性と等方性の時間条件は約 2 倍の時間差があった。これによってサンプルによって違いが出るが、異方性条件で 5 分だとすると等方性条件は 10 分になる事が考えられる。もう一つの利点は異方性、等方性の原理でも分かるように異方性の条件で行うことによって配線はしっかりしており不安定で崩れることはない。今回のサンプルは一層配線であり図 5.9 を見て分かる通り等方性条件で行ってもアルミ配線に問題は見られなかった。このような観点から一層配線で構成されている回路では決められた一定の時間であれば異方性、等方性はどちらの条件でもエッチングが可能であると考えられる。

今回 RIE 装置でエッチングを行ったが図 3.6 の構造に不思議な点が見られた。本来同じ条件で全体的にエッチングしているのでエッチングされる深さは同じであるが､図 3.6 など見ると段差が見られエッチングされている部分とされていない部分がはっきり見られた。原因は物質の違いでエッチングされ方が違ってくると考えられた。物質はフィールド酸化膜と考えられるが現在は不明である。この事から場所によってエッチングのされ方が違うことがわかった。そうすると 1 回目のエッチング条件と 2 回目のエッチング条件を変えることにより上記の問題は解決されるのではないかと考えられる。また、1 回目異方性の条件、2 回目等方性の条件といったようにすると多層配線でも配線をつぶさないように配線間の絶縁膜の除去が可能であると考えられる。

多層配線においてエッチング条件の特定は研究段階である。今回ガスの流量を変えて一層配線と同じ時間でやってみたが足りなく大幅に違っていた。この解決策は異方性での条件ならば時間をある程度長くしても配線に与える影響はない事は一層配線のサンプルで分かっている。この事から異方性条件であればある程度時間を長くすることにより多層配線での絶縁膜除去が完璧に行えると考えられる。問題点は顕微鏡で絶縁膜除去が完璧に分からないことである。多層配線において時間を経過とともに顕微鏡で見るなんらかの変化をキャッチして完璧に絶縁膜除去が行えるようにする事がもっとも最適であると考えられる。

今後の展開

今回は時間だけの変化によるエッチングのされ方を見てきたが、今後はエッチングガス、真空度、高周波出力を変えることによってサンプルに与える影響を見ていく。又、いろいろな物質に対してのエッチングレートが違ってくるため、その物質に見合った最適エッチング条件を確定していく。そして、多層配線において配線間ショートが起こらないように絶縁膜を除去し、配線がむき出しになった状態の SEM 像を撮る研究を行っていく。

謝辞

本研究を進めるにあたりご指導を賜りました真田 克教授に心より感謝します。

また日頃から意見を交わし協力しあった 真田研究室の有田竜一氏、森脇健太氏、橋田啓示氏、畑広海氏、森尾剛氏、山中智史氏には深く感謝しています。

お世話になった皆様に、心よりのお礼申し上げます。

参考文献

[1]**高知工科大学 工学部 電子・光システム工学科 教授 工学博士 真田 克**
「LSI における故障解析技術とその実際・例」 2005

[2]**二川 清、山 悟、吉田 徹「デバイス・部品の故障解析」**1992

[3]**堤井 信力「プラズマ基礎工学 増補版」**1986

[4]**工学博士 奥田 孝美「プラズマ工学」**1975

[5]**菊地 正典「半導体のすべて」**1998

[6]**半導体製造工程の部屋** http://www1.ocn.ne.jp/~raichi/index.html